

Check for updates

УДК 697.34; 004.9
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42

Научная статья



Разработка информационной модели системы теплоснабжения на различных этапах ее жизненного цикла

А. Л. Тихомиров ✉, **А. П. Пирожникова**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ a.l.tikhomirov@yandex.ru

Аннотация

Введение. Приводятся данные по элементам систем теплоснабжения Российской Федерации (источникам тепла, тепловым сетям) а также их основные энергетические характеристики. Указаны основные проблемы в отрасли. Сделан вывод о необходимости оптимизация работы систем теплоснабжения во всех ее звеньях и на всех этапах жизненного цикла.

Материалы и методы. Для оптимального управления теплоэнергетическими системами авторы считают целесообразным создание на каждом этапе жизненного цикла цифровой информационной модели каждого элемента системы, в том числе:

- трехмерную инженерную цифровую модель местности;
- трехмерную инженерную цифровую модель тепловых сетей, учитывающую смежные коммуникации и сооружения;
- эксплуатационную цифровую модель системы теплоснабжения на платформе геоинформационного программного комплекса Zulu21.

Приведена технология обмена данными в IFC формате между программными комплексами. Указана необходимость верификации эксплуатационной модели с использованием данных натурных измерений на физической модели системы теплоснабжения.

Результаты исследования. Создание цифровой информационной 6D модели системы теплоснабжения позволяет перейти на более высокий уровень: интеллектуальное динамическое управление сложной энергетической системой (нейроуправление).

Программный пакет SCADA в online режиме собирает необходимую информацию (температура, давление, расход теплоносителя) с датчиков, установленных в характерных точках системы. Вся информация передается на ZuluOPC-программный комплекс со встроенной поддержкой технологии OPC для получения данных со SCADA-системы. Полученные данные поступают в программный комплекс ZuluGis, включающий модуль ZuluThermo, с загруженной цифровой информационной моделью системы теплоснабжения. В модуле происходит расчет фактических тепловых и гидравлических режимов системы. Данные по оптимальному и фактическому теплогидравлическим режимам передаются блок нейроуправления для сравнения и принятия управленческого решения. Принятое решение передается на соответствующий контроллер для инициализации действий по изменению того или иного параметра.

Обсуждение и заключения. Предложена технология разработки цифровой информационной модели для элементов системы теплоснабжения на всех этапах ее жизненного цикла. Создание цифровой информационной 6D модели системы теплоснабжения позволяет перейти на более высокий уровень: интеллектуальное динамическое управление сложной энергетической системой (нейроуправление). Применение

интеллектуального управления позволяет повысить качество принимаемых решений, значительно повысить энергетическую эффективность систем теплоснабжения и качество оказания услуг конечному потребителю.

Ключевые слова: система теплоснабжения, теплогидравлический режим, эксплуатационная модель, нейроуправление, цифровая информационная модель, жизненный цикл.

Благодарности. Авторы выражают признательность коллегам за помощь.

Для цитирования. Тихомиров, А. Л. Разработка информационной модели системы теплоснабжения на различных этапах ее жизненного цикла / А.Л. Тихомиров, А. П. Пирожникова // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 3. — С. 35–42. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42

Original article

Development of an Information Model of a Heat Supply System at Various Stages of the Life Cycle

Alexey L. Tikhomirov ✉, **Anastasia P. Pirozhnikova**

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ a.l.tikhomirov@yandex.ru

Abstract

Introduction. Data on elements of heat supply systems of the Russian Federation (heat sources, heating networks) are given as well as the main energy characteristics. The main problems in the industry are indicated. It is concluded that it is necessary to optimize the operation of heat supply systems in all its links and at all stages of the life cycle.

Materials and Methods. For optimal control of thermal power systems, the authors consider it expedient to create a digital information model of each element of the system at each stage of the life cycle, including:

– three-dimensional engineering digital terrain model;

– three-dimensional engineering digital model of heating networks, taking into account adjacent communications and structures;

– operational digital model of the heat supply system on the platform of the geoinformation software complex Zulu21.

The technology of data exchange in IFC format between software complexes is given. The necessity of verification of the operational model using the data of field measurements on the physical model of the heat supply system is indicated.

Results. The creation of a digital information 6D model of the heat supply system allows you to move to a higher level: intelligent dynamic control of a complex energy system (neurocontrol).

The SCADA software package in online mode collects the necessary information (temperature, pressure, coolant flow) from sensors installed at characteristic points of the system. All information is transmitted to Zulu, a software package with built-in support for OPC technology to receive data from a SCADA system. The received data is fed into the ZuluGis software package, which includes the ZuluThermo module, with a loaded digital information model of the heat supply system. The actual thermal and hydraulic modes of the system are calculated in the module. Data on the optimal and actual thermal-hydraulic modes are transmitted to the neurofeedback unit for comparison and management decision-making. The decision is transmitted to the appropriate controller to initialize actions to change a parameter.

Discussion and Conclusions. A technology for developing a digital information model for elements of a heat supply system at all stages of its life cycle is proposed. The creation of a digital information 6D model of the heat supply system allows you to move to a higher level: intelligent dynamic control of a complex energy system (neurocontrol). The use of intelligent control makes it possible to improve the quality of decisions made, significantly increase the energy efficiency of heat supply systems and the quality of services provided to the end user.

Keywords: heat supply system, thermohydraulic mode, operational model, neurocontrol, digital information model, life cycle.

For citation. A. L. Tikhomirov, A. P. Pirozhnikova. Development of an Information Model of a Heat Supply System at Various Stages of the Life Cycle. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 3, pp. 35–42. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-3-35-42

Введение. Российская система теплоснабжения является самой большой в мире, обеспечивая около 40 % мирового централизованного производства тепловой энергии. Согласно докладу Министерства энергетики Российской Федерации «О состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2020 году», в стране работает 572 тепловых электростанций мощностью от 500 кВт и выше и 77,3 тыс. отопительных котельных. В 2020 году источниками тепла в России было произведено 1221,4 млн. Гкал тепловой энергии. Протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет 167,4 тыс. км. [1, 2]

Ориентация российской энергетики на теплофикацию и централизованное теплоснабжение как основной способ удовлетворения тепловых потребностей населенных пунктов и промышленных центров технически и экономически себя оправдали. Однако в работе систем централизованного теплоснабжения и теплофикации имеется много недостатков, неудачных технических решений, неиспользованных резервов. На конец 2020 года общая протяженность тепловых сетей в РФ, нуждающихся в замене в соответствии со сроками эксплуатации в двухтрубном исчислении составила 51,5 тыс. км., в том числе протяженность ветхих сетей (т.е. имеющих износ по данным технической инвентаризации более 60 %) составила 38,8 тыс. км. [3, 4] Изменение протяженности тепловых сетей, требующих замены и ветхих приведено на рис. 1.

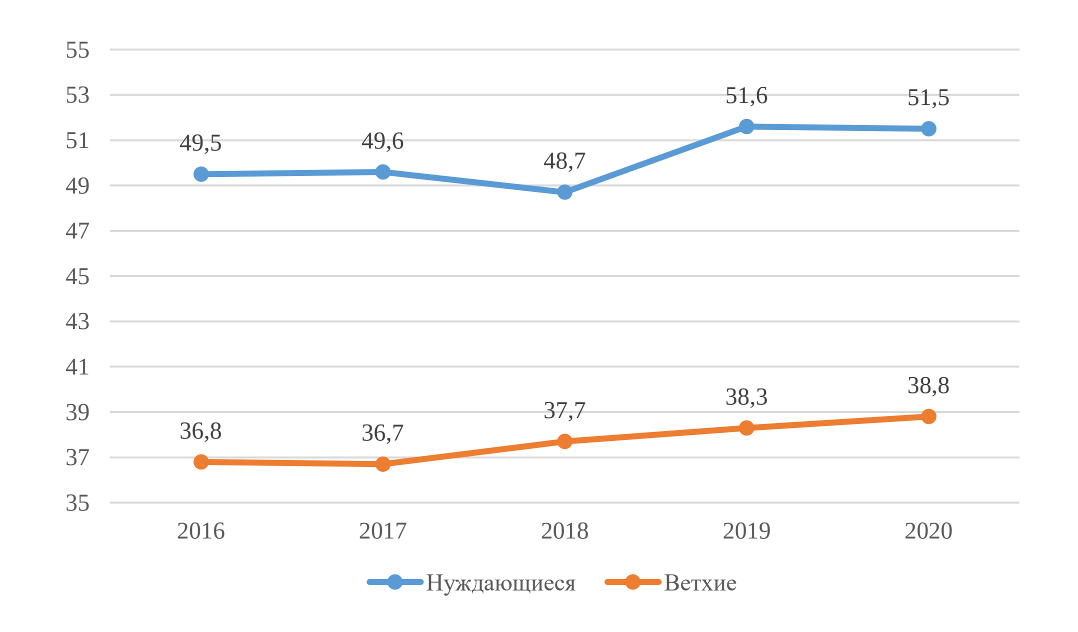


Рис. 1. Изменение протяженности тепловых сетей, требующих замены и ветхих (рисунок авторов)

Столь большое количество изношенных тепловых сетей приводит к высокой аварийности, сверхнормативным тепловым потерям через изоляцию и утечкам теплоносителя [5].

Перспективное развитие центрального теплоснабжения наряду с эволюционированием традиционных технологий производства, передачи и потребления тепловой энергии предусматривает переход на качественно новый уровень их энергетической, экологической и экономической эффективности. Оптимизация работы систем теплоснабжения во всех ее звеньях и на всех этапах жизненного цикла является первоочередной задачей теплоэнергетики страны [6, 7].

Материалы и методы. Системы централизованного теплоснабжения, включающие источники тепловой энергии, тепловые сети-системы трубопроводов и сооружений на них, предназначенные для транспортировки теплоносителя, конечные потребители тепловой энергии, являются сложными инженерными системами. Для оптимального управления этими системами авторы считают целесообразным создание на каждом этапе жизненного цикла цифровой информационной модели каждого элемента - совокупности взаимосвязанных инженерно-технических и инженерно-технологических данных об объекте капитального строительства, представленных в цифровом объектно-пространственном виде [8, 9, 10, 11, 12].

В соответствии с СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» жизненный цикл здания или сооружения — это период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения.

Первым этапом жизненного цикла являются инженерные изыскания, в том числе – геодезические. Изыскания проводятся электронными геодезическими приборами, в результате получаем трехмерную инженерную цифровую модель местности [13].

Вторым этапом является проектирование. Трехмерное проектирование тепловых сетей предусматривает учет смежных коммуникаций и сооружений. Проектирование осуществляется в CAD программах, при этом топографической подложкой является инженерная цифровая модель местности. Для проектирования линейных инфраструктурных объектов, к каким относятся тепловые сети, широко применялась программа Civil 3D, компании Autodesk на платформе Autocad. В связи с уходом компании с российского рынка, авторы рекомендуют для проектирования инфраструктурных объектов программу Geoni CS, российского разработчика CS Development, работающей на платформе nanoCad22 [14, 15].

Третьим этапом является строительство объектов системы, с использованием цифровой рабочей документации. В ходе строительства, по согласованию с проектной организацией, могут быть внесены изменения в проектную документацию. Именно исполнительная документация является основой для создания цифровой эксплуатационной модели [16].

Следует отметить, каждому типу цифровой информационной модели на каждом этапе жизненного цикла соответствует определенный уровень проработки - минимальный объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач информационного моделирования на конкретной стадии жизненного цикла объекта [17, 18].

Четвертый этап-создание эксплуатационной модели (6D модель) в соответствии с классификацией СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах» [15, 19, 20].

Авторы предлагают передать геометрическую информацию по объектам тепловых сетей, используя блок-схему, приведенную на рис. 2.

Передача данных должна производиться в IFC-формате, формате отраслевых базовых классов данных с открытой спецификацией для совместного использования их в строительстве и управлении объектами с выполнением требований интероперабельности. В качестве Программного комплекса Б предлагается использовать программный комплекс Zulu21 с модулем ZuluThermo разработки отечественной компании «Политерм». Комплексом Zulu21 на базе графической 3D модели тепловой сети будут созданы топологические связи объектов системы теплоснабжения (с использованием теории графов). Последующее создание семантических баз данных по всем элементам системы приведет к созданию полноценной эксплуатационной 6D модели. Важным моментом создания эксплуатационной модели является ее верификация на соответствие физическому аналогу. Верификация проводится с использование данных измерений основных параметров в характерных точках физической системы теплоснабжения [21–27].

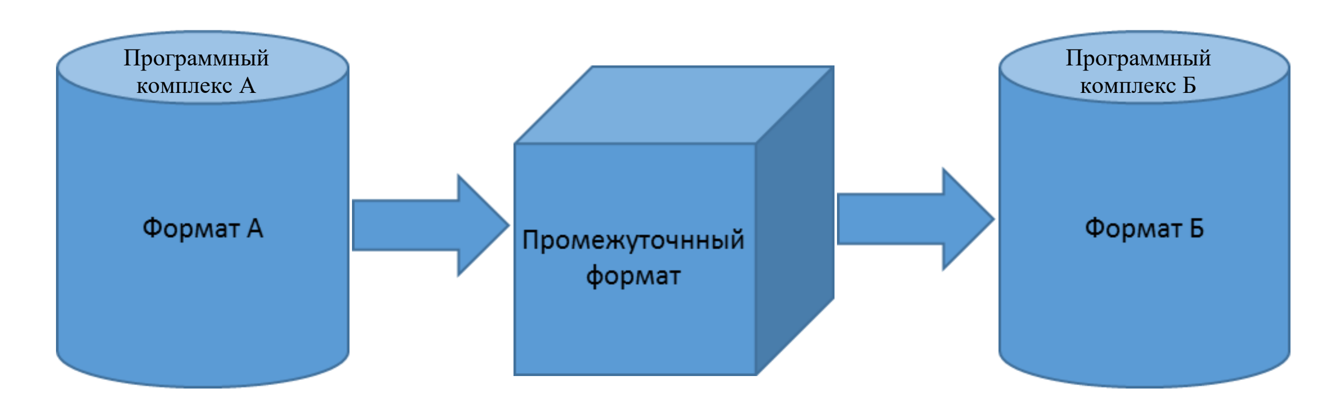


Рис. 2. Блок-схема передачи данных с использованием промежуточного формата обмена (рисунок авторов)

Результаты исследования. Создание цифровой информационной 6D модели системы теплоснабжения позволяет перейти на более высокий уровень: интеллектуальное динамическое управление сложной энергетической системой (нейроуправление).

Организация системы управления представлена на блок-схеме, приведенной на рис. 3.

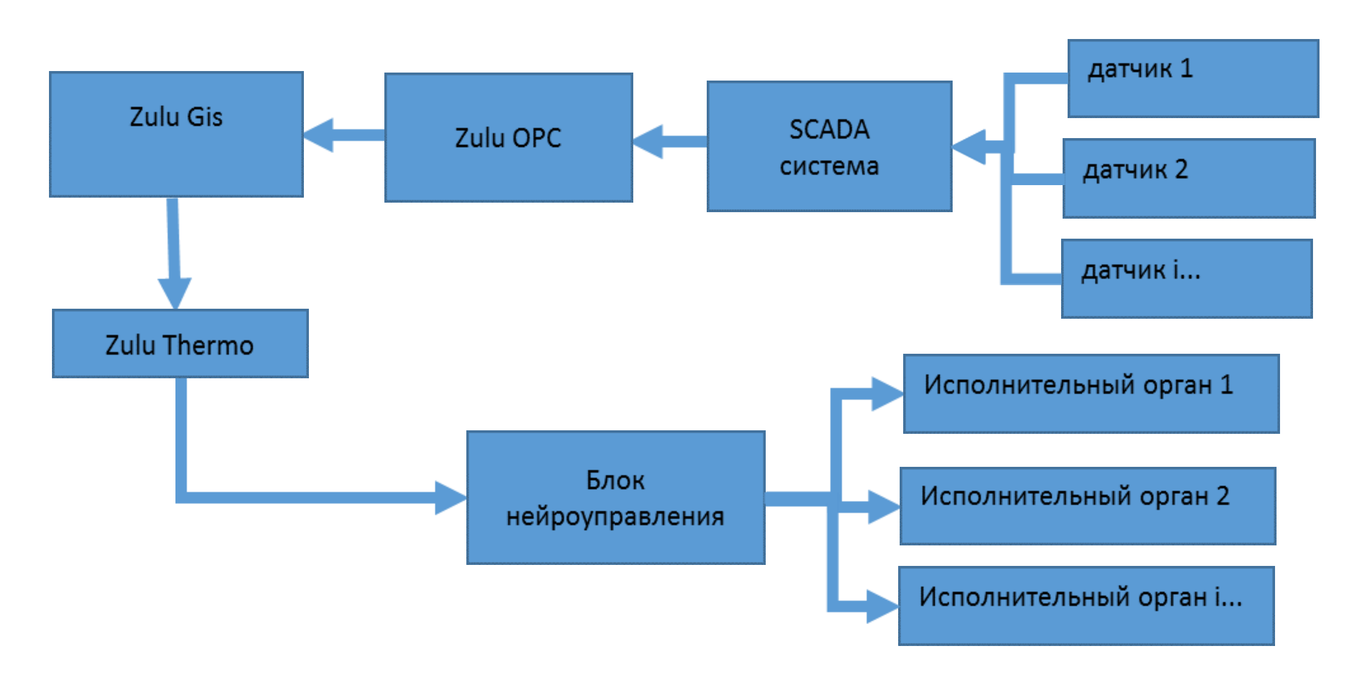


Рис. 3. Организация системы управления (рисунок авторов)

Принцип работы системы управления заключается в следующем:

Программный пакет SCADA (Supervisori Control And Data Acquisition-диспетчерское управление и сбор данных) в online режиме собирает необходимую информацию (температура, давление, расход теплоносителя) с датчиков, установленных в характерных точках системы. Вся информация передается на ZuluOPC-программный комплекс со встроенной поддержкой технологии OPC (Open Platform Communications) для получения данных со SCADA-системы. Полученные данные поступают в программный комплекс ZuluGis, включающий модуль ZuluThermo, с загруженной цифровой информационной моделью системы теплоснабжения. В модуле происходит расчет фактических тепловых и гидравлических режимов системы. Данные по оптимальному и фактическому теплогидравлическим режимам передаются в блок нейроуправления для сравнения и принятия управленческого решения. Принятое решение передается на соответствующий контроллер для инициализации действий по изменению того или иного параметра [28–29].

Обсуждение и заключения. Предложена технология разработки цифровой информационной модели для элементов системы теплоснабжения на всех этапах ее жизненного цикла. Создание цифровой информационной 6D модели системы теплоснабжения позволит перейти на более высокий уровень: интеллектуального динамического управления сложной энергетической системой (нейроуправление). Применение интеллектуального управления будет способствовать значительному повышению качества принимаемых решений, энергетической эффективности систем теплоснабжения и качеству оказания услуг конечному потребителю.

Библиографический список

1. Чурашев, В. Н. Оценка потенциала теплосбережения: региональные особенности и возможности ТЭБ / В.Н. Чурашев, В.М. Маркова // Труды IX Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». В 4 т. Т. 1. — Новосибирск: Сибирская государственная геодезическая академия, 2013. — С. 114–119.

2. Состояние сетей и системы теплоснабжения. Режим доступа: http://nsk.novosibdom.ru/node/2860 (дата обращения 15.11.2022).

3. Централизованное теплоснабжение как повод для беспокойства. Режим доступа: http://academcity.org/content/centralizovannoe-teplosnabzhenie-kak-povod-dlyabespokoystva (дата обращения: 10.11.2022).

4. Сердюков, О. В. Программно-технический комплекс «Торнадо-N» для объектов теплоэнергетики / О. В. Сердюков // Новое в российской электроэнергетике. — 2011. — № 9. — С. 24–30.

5. Пасичко, С. И. Системы теплоснабжения. Выбор оптимальных направлений развития / С. И. Пасичко, Е. А. Халецкая, А.Г. Колиенко // Новости теплоснабжения. — 2002. — № 24.08.

6. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы» // Информационно-правовой портал «Гарант.ру». Режим доступа: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/ (дата обращения 05.11.2022).

7. Тихомиров, А. Л. Информационное моделирование объектов инженерной инфраструктуры / А. Л. Тихомиров, А.Ю. Бабушкин // Мат-лы Всеросс. (нац.) науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы науки и техники». — Ростов-на-Дону, 2021. — С. 287–288.

8. Бабушкин, А. Ю. Разработка алгоритма автоматизации тепловой сети / А. Ю. Бабушкин // Наука молодых — будущее России. — 2021. — С. 214–215.

9. Тихомиров, А. Л. Верификация электронной модели тепловой сети по параметру "эквивалентная абсолютная шероховатость" / А.Л. Тихомиров, Н.А. Ананьев // Инженерный вестник Дона. — 2020. — №. 3 (63). — С. 12.

10. Красильникова К. В. Модели интеграции информационных ресурсов региональной системы жилищно-коммунального хозяйства / К. В. Красильникова, В. И. Соловьев // Инновации в жизнь. — 2016. — № 1 (16). — С. 69–80.

11. Цифровые организации: тенденции и практики применения в России. Режим доступа: http://www.riarating.ru/infografika/20160127/630007042.html (дата обращения 08.11.2022).

12. Рафальская, Т. А. Исследование переменных режимов работы систем централизованного теплоснабжения при качественно-количественном регулировании / Т. А. Рафальская, А. Р. Мансуров, И. Р. Мансурова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2019. — № 10 (2). — С. 79–91.

13. Соловьев, В. И. Цифровая трансформация систем теплоснабжения муниципального образования / В. И. Соловьев // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2019. — № 2 (14). — С. 52–61.

14. Автоматизированные системы диспетчерского управления. Режим доступа: https://politer.info/solutions/asdu/ (дата обращения 12.01.2019).

15. Распоряжение Правительства РФ №1632-р от 28.07.2017. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Информационно-правовой портал «Гарант.ру». Режим доступа: http://base.garant.ru/71734878/ (дата обращения 05.11.2022).

16. Электронное правительство и государственная информационная система жилищно-коммунального хозяйства региона / Якимчук Я. Ю., Мартемьянов В. С., Аверьяскин С. Г., Соловьев В. И. // Инновации в жизнь. — 2014. — № 1 (8). — С. 56–67.

17. Кислов, Д.К. Разработка системы интеллектуального теплоснабжения на базе информационной сети Zulu / Д. К. Кислов, М. С. Рябенко, Т. А. Рафальская // Энергосбережение и водоподготовка. — 2018. — № 2 (112). — С. 55-59. https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/ (дата обращения: 15.01.2022).

18. Шишкин А.В. и др. Создание цифрового двойника тепловой сети в различных программных комплексах // Надежность и безопасность энергетики. — 2022. — Т. 15. №. 3. — С. 166–174.

19. Zheng X., Sun Q., Wang Y., Zheng L., Gao X., You S., Zhang H., Shi K. Thermo-hydraulic coupled simulation and analysis of a real large-scale complex district heating network in Tianjin. Energy 2021; 236, 121389.10.1016/j.Energy.2021.121389 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.energy.2021.121389.

20. Zheng J., Zhou Z., Zhao J., Wang J. Function method for dynamic temperature simulation of district heating network. Applied Thermal Engineering 2017; (123): 682 - 688.10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083.

21. Falay B., Schweiger G., O'Donovan K., Leusbrock I. Enabling large-scale dynamic simulations and reducing model complexity of district heating and cooling systems by aggregation. Energy 2020; 209, 118410.10.1016/j.Energy.2020.118410 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.energy.2020.118410.

22. Barone G., Buonomano A., Forzano C., Palombo A. A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems. Energy Conversion and Management 2020; 220, 113052.10.1016/j.enconman.2020.113052 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.enconman.2020.113052 (EDN: XCHBYE.

23. Larsen H. V., Palsson H., B0hm B., Ravn H. F. Aggregated dynamic simulation model of district heating networks. Energy Conversion and Management 2002; (43): 995-1019.10.1016/S0196-8904(01)00093-0 (дата обращения: 26.12.2022). DOI: 10.1016/S0196-8904(01)00093-0.

24. Zheng J., Zhou Z., Zhao J., Wang J. Function method for dynamic temperature simulation of district heating network. Applied Thermal Engineering 2017; (123): 682 - 688.10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083.

25. Hussein A., Klein A. Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform. Applied Thermal Engineering 2021; 187, 116529.10.1016/j.applthermaleng.2020.116529 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.applthermaleng.2020.116529.

26. Badami M., Fonti A., Carpignano A., Grosso D. Design of district heating networks through an integrated thermo-fluid dynamics and reliability modelling approach. Energy 2018; (144): 826 -838.10.1016/j.Energy.2017.12.071 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.energy.2017.12.071.

27. Schweiger G., Larsson P.-O., Magnusson F., Lauenburg P., Velut S. District heating and cooling systems - Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization. Energy 2017; (137): 566 - 578.10.1016/j.Energy.2017.05.115 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.energy.2017.05.115.

28. Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J. E., Hvelplund F., Mathiesen B. V. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable Energy systems. Energy 2014, (68): 1 - 11.10.1016/j.Energy.2014.02.089 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/j.energy.2014.02.089.

29. Lauenburg P. 11 - Temperature optimization in district heating systems, in: Wiltshire R. (Ed.), Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing, Oxford, 2016: 223 - 240.10.1016/B978-1-78242-374-4.00011-2 (дата обращения: 26.12.2022). 10.1016/B978-1-78242-374-4.00011-2.

Поступила в редакцию 21.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Тихомиров Алексей Леонидович — доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, a.l.tikhomirov@yandex.ru.

Пирожникова Анастасия Петровна — старший преподаватель кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, anastasiapir@mail.ru.

Заявленный вклад авторов:

Тихомиров А. Л. — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов. Пирожникова А. П. — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.